



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Energirammeberegninger på universitetsbyggeri

Afprøvning af nye energikrav på Det Farmaceutiske Fakultet, Københavns Universitet

Pedersen, Frank; Wittchen, Kim Bjarne; Bertelsen, Niels Haldor

Publication date:
2007

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Pedersen, F., Wittchen, K. B., & Bertelsen, N. H. (2007). *Energirammeberegninger på universitetsbyggeri: Afprøvning af nye energikrav på Det Farmaceutiske Fakultet, Københavns Universitet*. SBI forlag. SBI Nr. 2007:07

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Energirammeberegninger på universitetsbyggeri

Afprøvning af nye energikrav på
Det Farmaceutiske Fakultet, Københavns Universitet



Energirammeberegninger på universitetsbyggeri

Afprøvning af nye energikrav på Det Farmaceutiske Fakultet, Københavns
Universitet

Frank Pedersen
Kim B. Wittchen
Niels Haldor Bertelsen

Titel	Energirammeberegninger på universitetsbyggeri
Undertitel	Afprøvning af nye energikrav på Det Farmaceutiske Fakultet, Københavns Universitet
Serietitel	SBi 2007:07
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2007
Forfattere	Frank Pedersen, Kim B. Wittchen, Niels Haldor Bertelsen
Sprog	Dansk
Sidetæl	29
Litteratur-henvisninger	Side 22
Emneord	Energiramme, energirenovering, energiberegninger, bygningsreglement

ISBN 978-87-563-1301-8

Tekstbehandling	Frank Pedersen
Omslagsfoto	Frank Pedersen

Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post sbi@sbi.dk www.sbi.dk
---------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *SBi 2007:07. Energirammeberegninger på universitetsbyggeri. Afprøvning af nye energikrav på Det Farmaceutiske Fakultet, Københavns Universitet. (2007)*

Indhold

Forord	4
Resume	5
1. Indledning	6
2. Beskrivelse af den eksisterende bygning	7
Generelt	7
Klimaskærmen	8
Ventilation	9
Internt varmetilskud	9
Belysning	10
Varmefordelingsanlæg	11
Varmt brugsvand	11
Forsyning	12
3. Energiberegninger for den eksisterende bygning (beregning 1)	13
4. Energibesparende tiltag	14
Forbedring af klimaskærmen	14
Forbedring af systemer	14
Installering af vedvarende energisystemer	15
5. Energiberegninger for den forbedrede bygning (beregning 2 og 3)	16
Energirammeberegninger for de energibesparende tiltag	16
Energirammeberegninger for samlede løsninger	17
6. Generering af input til Be06 vha. Basismodel	19
Input til Be06	19
Ekstra funktioner i Basismodel	20
7. Afsluttende bemærkninger	21
Litteratur	22
Appendiks 1: Datamateriale	23
Appendiks 2: Arealer og vinkler	24
Anvendte benævnelser for facader og endevægge	24
Ydervægge og tagkonstruktioner	24
Vinduer, glasfacader og døre	25
Lav og dyb kælder	26
Appendiks 3: Vinkler	27

Forord

Universitets- og Bygningsstyrelsen (UBST) og SBi har de seneste år arbejdet sammen om udvikling af bedre metoder til styring af nybygninger og store ombygninger af universitetsbyggeri. Det har bl.a. drejet sig om, hvorledes byggestyringen kan effektiviseres, hvorledes samarbejdet med lejerne, slutbruger og byggeparterne på sagen kan forbedres, og hvorledes en 2D- og 3D-visualisering kan understøtte dette arbejde. Målet med denne udvikling er at afprøve metoder, som kan styrke kompetencen i bygherrefunktionen og forbedre byggesagernes kvalitet og effektivitet. UBST ønsker herigennem at vise, hvorledes de som stor statslig bygherre kan bidrage aktivt til en generel udvikling af dansk byggeri.

I denne rapport tager vi fat på en ny gren i dette udviklingssamarbejde, idet vi vil se på, hvorledes de nye energikrav i praksis kan omsættes til en aktiv energipolitik for ombygning af universitetsbyggeri. Det Farmaceutiske Fakultet, Københavns Universitet, Bygning 30 på Jagtvej, som er opført i 1998-1999, er valgt som afprøvningseksempel i denne rapport, idet vi her ved bygger videre på foregående udviklingsarbejde på denne bebyggelse (Bertelsen (2004) og Sørensen (2004)). Gennem konkrete energiberegninger på bygningen ønskes illustreret, hvorledes forskellige bygningsdele kan energiforbedres, og i hvilken grad de vil bidrage til at overholde de nye energikrav.

Vi håber, at disse erfaringer vil kunne bidrage til en fortsat udvikling af området, og at kommende udvikling og forsøg på demo-byggerier som fx KUA etape 2 og 3 trin for trin vil bidrage til en fortsat forbedring af bygherrekompetencen og universitetsbyggerierne. Vi takker til slut UBST for det gode samarbejde og støtten til denne rapports realisering. Desuden skal der rettes en stor tak til John Petersen og Jakob Pommergaard fra Det Farmaceutiske Fakultet for deres hjælp i forbindelse med denne rapport.

Statens Byggeforskningsinstitut
Afdeling for Energi og Miljø
Juni 2007

Søren O. Aggerholm
Forskningschef

Resume

Denne rapport beskriver energirammeberegninger for bygning 30 ved Det Farmaceutiske Fakultet, Københavns Universitet. Formålet er dels at få erfaringer der kan anvendes i forbindelse med KUA etape 2 og 3, dels at få erfaringer med at foretage energirammeberegninger med programmet Be06 på basis af oplysninger hentet fra programmet Basismodel.

Indledningsvis beskrives den eksisterende bygning på et detaljeringsniveau der muliggør energirammeberegninger for bygningen. Dernæst beskrives forslag til energibesparende tiltag og løsninger for bygningen. Disse gennemregnes med henblik på at vurdere, hvorvidt de virker som realistiske muligheder til reduktion af bygningens energibehov.

På basis af erfaringerne med disse beregninger er der udarbejdet en række forslag til implementering af ekstra funktioner i programmet Basismodel, med henblik på at få denne til at arbejde tættere sammen med Be06. Følgende funktioner anses bl.a. relevante i forbindelse med videreudviklingen af Basismodel:

- 1 Mulighed for at gruppere rum, konstruktioner eller andre objekter
- 2 Mulighed for at kunne tildele termodynamiske egenskaber til objekterne (konstruktionerne)
- 3 Mulighed for at kunne visualisere resultater fra energiberegninger eller prisberegninger, f.eks. pris pr. sparet kWh for et energibesparende tiltag
- 4 Mulighed for at kunne visualisere og sammenligne det målte og beregnede energibehov.

Slutteligt foreslås det, at denne rapportes erfaringer indarbejdes i kommende udviklinger og afprøvninger på universitetsbyggerier, og at dette fx kan ske i tilknytning til ombygning af KUA etape 2 og 3 på Amager.

1. Indledning

Det primære formål med denne rapport er at beskrive energirammeberegninger for bygning 30 ved Det Farmaceutiske Fakultet (FARMA) under Københavns Universitet. Der foretages tre beregninger for bygningen ved hjælp af programmet Be06. Beregningerne baseres i videst muligt omfang på data hentet fra en 3D model af bygningen (Blokmodel), der er lavet med programmet Basismodel.

I forbindelse med beregningerne foretaget i denne rapport opereres med følgende regelsæt:

- 1 Bygningsreglementet der var gældende i 1995. Dette regelsæt refereres til som BR95.
- 2 BR95 samt tillæg 12, der gælder fra 1/1 2006, hvor varmetabsrammen er erstattet af en energiramme. Dette regelsæt refereres til som BR95t12.
- 3 De forventede krav i en planlagt stramning af bygningsreglementet i 2010. Disse stramninger svarer til de krav der i dag stilles for at få en bygning energimærket som en lavenergiklasse 2 bygning. Det antages at det stadig til den tid er muligt at opnå tillæg til energirammen for forøget brugstid. Dette regelsæt refereres til som BR95k2.

Der gennemføres følgende tre beregninger for bygningen:

- 1 Som bygningen er opført. Denne beregning foretages i henhold til BR95. Bygningen er opført i perioden 1998-1999, og opfylder derfor ikke nødvendigvis BR95t12.
- 2 Med tænkte energiforbedringer, med henblik på at overholde BR95t12.
- 3 Med tænkte energiforbedringer, med henblik på at overholde BR95k2.

For at beregne bygningens energiforbrug vha. Be06, skal der udfyldes en række skemaer med oplysninger om bygningens klimaskærm, installationer, driftsparametre, og øvrige forhold der har indflydelse på energiforbruget. Den eksisterende bygning gennemgås i samme rækkefølge som skemaerne i Be06, dog uden at medtage alle detaljer. I rapportens appendiks er betænelser og beregningsforudsætninger mm. beskrevet.

Rapporten har som sekundært formål at beskrive hvorledes de relevante oplysninger i forbindelse med energirammeberegninger kan fremskaffes ved hjælp af programmet Basismodel. Disse erfaringer kan bruges til at få Be06 og Basismodel programmerne til at arbejde tættere sammen.

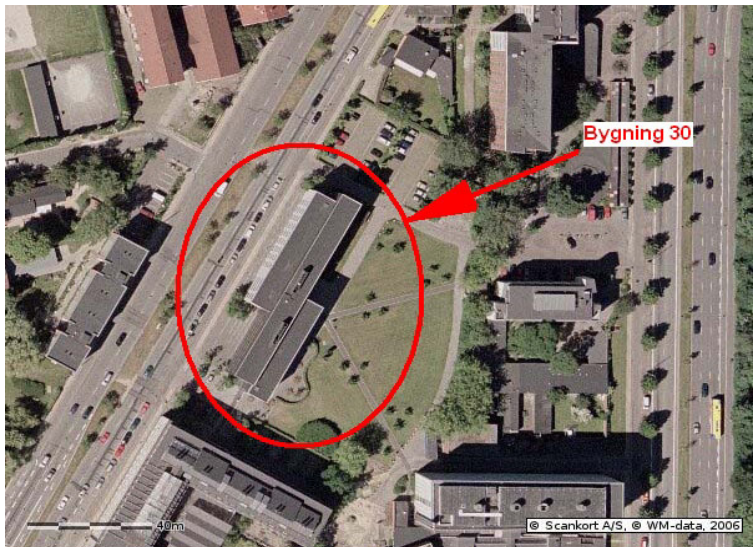
2. Beskrivelse af den eksisterende bygning

I det følgende gives en beskrivelse af den eksisterende bygning. Det har ikke været muligt at få fat i alle de oplysninger der er relevante i forbindelse med en energirammeberegning. Manglende oplysninger er estimeret ved at hente dem fra BR95, der var gældende da bygningen blev opført, eller ved at benytte værdier der anses at være realistiske.

Generelt

Det Farmaceutiske Fakultet befinder sig ved Universitetsparken 2 i København, og afgrænses mod øst af Nørre Allé, mod syd af Universitetsparken, og mod nordvest af Jagtvej. Bygning 30 vender ud mod Jagtvej. Bygningen er på 5 etager, inklusive kælder samt den øverste etage, der udelukkende består af teknikrum. Desuden omfatter bygningen en dyb kælder, der ligger lidt isoleret i forhold til den øvrige bygning, og som anvendes til mere følsomt måleudstyr. Bygningens samlede opvarmede etageareal er estimeret til 5682 m².

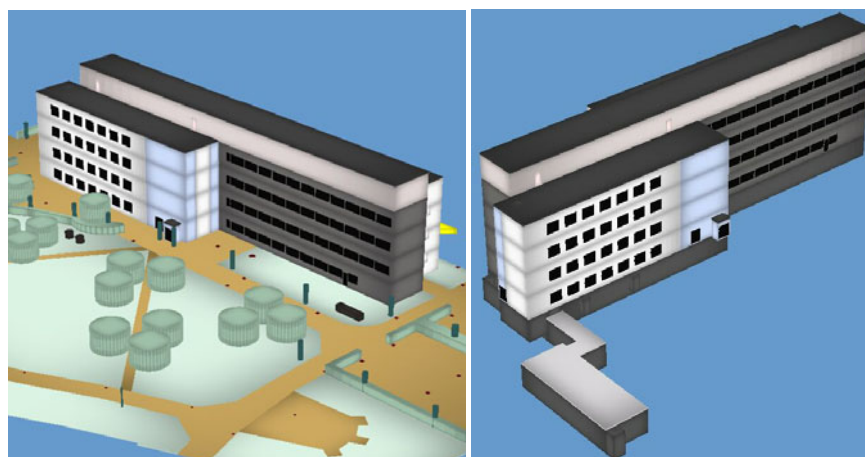
I figur 1 og figur 2 er vist oversigtsbilleder af bygningen og dets omgivelser. I figur 3 er 3D-modellen af bygningen vist.



Figur 1. Luftfoto af FARMA's bygning 30 (Kilde: www.dgs.dk).



Figur 2. Oversigt over FARMA's bygninger (Kilde: www.dfuni.dk).



Figur 3. Tv.: Skærmdump af programmet Basismodel, der viser en blokmodel af bygning 30. Th.: Skærmdump der viser den samme model uden terræn, hvor den dybe kælder er synlig.

Klimaskærmen

Det har vist sig at være for tidskrævende at fremskaffe alle relevante oplysninger om opbygningen af klimaskærmens dele, derfor er de sande U-værdier for klimaskærmens dele ukendte. I stedet benyttes de mindsteværdier der kræves i BR95, og som er gengivet i tabel 1. Resultaterne viser desuden at klimaskærmens egenskaber kun har en beskedne indflydelse på bygningens energibehov, hvorfor kendskab til klimaskærmens opbygning har mindre betydning.

I det følgende gennemgås kort klimaskærmens opbygning, baseret på oplysninger fra råhus- og lukningsentrepriserne for byggeriet.

Facadeløsningen består af blådæmpede og mathvide skærmtegl med 150 mm isolering i ydervæggene, og argonfyldte termoruder med en center U-værdi på $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Til solafskærmning anvendes CTS-styrede, indvendigt monterede, 16 mm brede persienner. Der er anvendt en flad tagkonstruktion. Kælderydervæggene er isolerede med 125 mm drænplade. Area-

lerne af klimaskærmens dele er fundet vha. 3D-modellen af bygningen. I rapportens appendiks er der givet flere detaljer vedrørende arealerne.

Tabel 1. De anvendte U-værdier for bygningens klimaskærm.

Bygningskomponent	U-værdi [W/m ² K]
Ydervægge	0,20
Kælderydervægge	0,30
Tagkonstruktioner	0,20
Terrændæk	0,20
Vinduer og døre	1,80

Ventilation

Bygningens ventilationsbehov dækkes af seks ventilationssystemer, benævnt K01 til K06, der fortrinsvis benyttes til udsugning fra i alt ca. 120 stinkskabe, samt indblæsning af erstatningsluft. Indblæsning betjenes af K01 og K02, og udsugning betjenes af samtlige anlæg. Der er ingen komfortventilation i bygningen. Der er varmegenvinding på alle anlæg, samt varme-flader på alle indblæsningsanlæg. Varmefladerne er koblet til fjernvarmeanlægget. Der er desuden installeret et antal punktsug i laboratorierne.

Det samlede ventilationsbehov for samtlige stinkskabe og punktsug er estimeret til 50 m³/s. Ved dimensionering af ventilationssystemet regnes dog med at maksimalt 75 % af systemerne tages i brug samtidig. Der er derfor installeret en ventilationskapacitet på ca. 37 m³/s.

I tabel 2 er det estimerede ugentlige ventilationsbehov og tidsforbrug angivet. Disse tal giver et gennemsnitlig ventilationsbehov på 17,95 m³/s. Fordeles dette behov på det ventilerede etageareal¹ på 5191,79 m², fås en gennemsnitlig luftstrøm på 3,46 l/sm², hvilket er den værdi der anvendes som input til Be06.

Tabel 2. Bygningens ugentlige ventilationsbehov.

Periode	Ventilationsbehov [m ³ /s]	Tidsforbrug [h/uge]
Indenfor arbejdstid	37	45
Udenfor arbejdstid	18	75
Weekend	0	48

Internt varmetilskud

Beregningen af det interne varmetilskud er baseret på antagelserne i Be06, der er gengivet i tabel 3. Tallene antages at gælde for hele det opvarmede etageareal.

Tabel 3. Internt varmetilskud fra personer og apparater.

Kilde	Bidrag [W/m ²]
Personer	4
Apparater i brugstiden	6
Apparater udenfor brugstiden	2

¹ Det opvarmede etageareal på nær 4. etage.

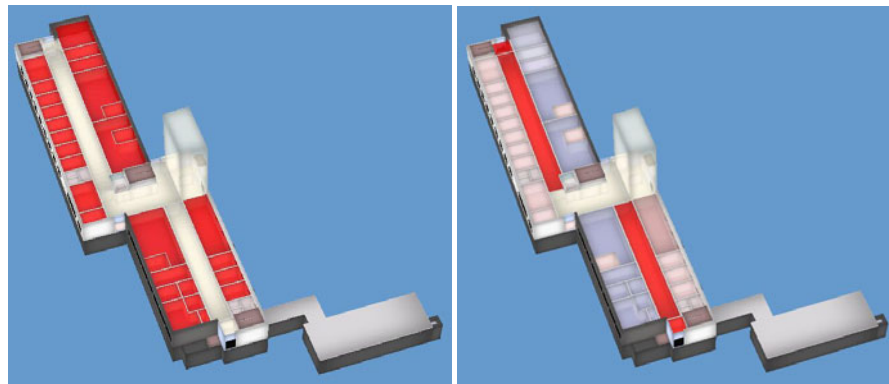
Belysning

Beregning af den anvendte energi til belysning er baseret på følgende opdeling af de belyste arealer:

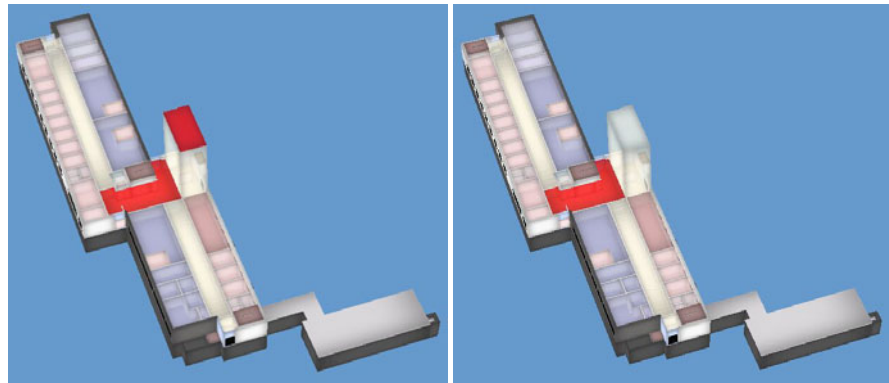
1. Arbejdslokaler (kontorer, laboratorier og teknikrum)
2. Gangarealer
3. Fællesarealer
4. Trapper
5. Vådrum

Arealopdelingen hentes direkte fra BlokModellen og er anvendt fra kælder til 3. etage som vist i figur 4 til figur 6. Der er følgende undtagelser:

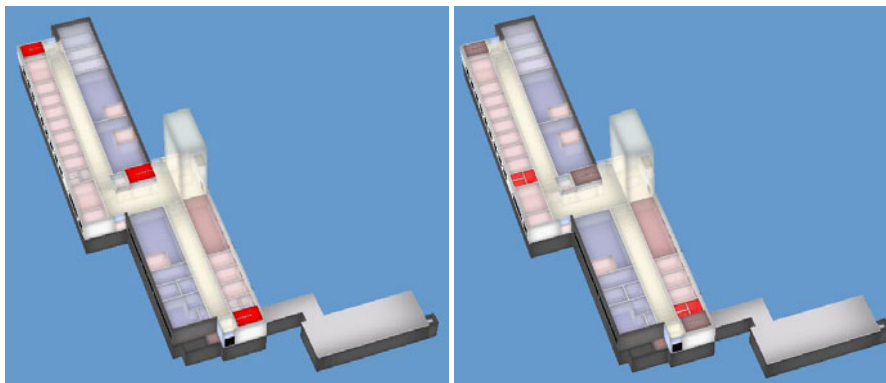
1. Fællesarealet vist i figur 5, tv. anvendes kun i stueetagen. I de øvrige etager anvendes arealet vist i figur 5, th.
 2. I kælderetagen medregnes gangarealet der forbinder den dybe og lave kælder. Den dybe kælder regnes som arbejdslokale.
4. etage er vist i figur 7, th. Denne opdeles i et arbejdslokale (teknikum), samt et mindre areal til elevatorrum.



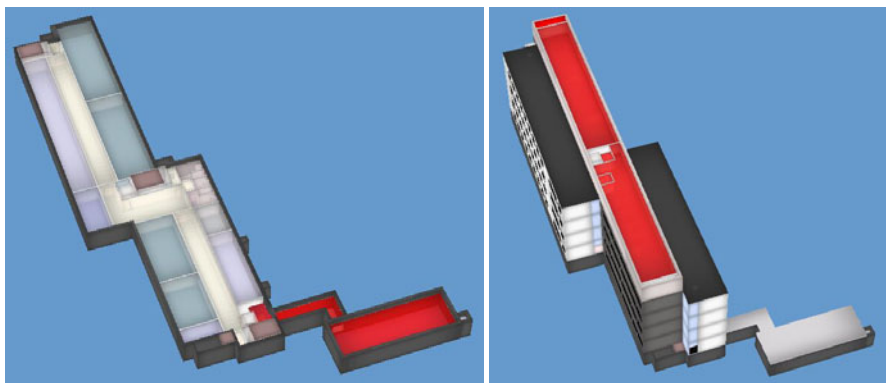
Figur 4. Skærmdump der viser arbejdslokaler (tv.), og gangarealer (th.). Angivet med rødt.



Figur 5. Skærmdump der viser fællesareal i stueetagen (tv.), og fællesareal i øvrige etager, med undtagelse af 4. etage (th.). Angivet med rødt.



Figur 6. Skærmdump der viser trapper (tv.), og vådrum (th.). Angivet med rødt.



Figur 7. Skærmdump der viser det ekstra gangareal og arbejdslokale i kælderen (tv.), og arbejdslokaler (teknikrum) på 4. etage (th.). Angivet med rødt.

Tabel 4. De anvendte dagslysfaktorer for forskellige typer lokaler.

Lokale	Dagslysfaktor
Kontorer og lokaler over terræn	2,50
Gangarealer over terræn	0,25
Fællesarealer over terræn	3,00
Kælderlokaler	0,00
Teknikrum (lokaler på 4. etage)	0,00
Trapper	0,00
Vådrum	0,00

Varmefordelingsanlæg

Der er installeret radiatorer under alle vinduer i bygningen til rumopvarmning, samt for at forhindre kuldenedfald. Alle rørstrækninger er med udetemperaturkompensering, og befinder sig desuden indenfor klimaskærmen. Derfor medtages disse rørstrækninger ikke i energirammeberegningerne.

Varmt brugsvand

Ved beregning af den energi der anvendes til produktion af varmt brugsvand, benyttes standardantagelsen i Be06, nemlig at der for ikke-boliger er et behov for varmt brugsvand svarende til 100 l/år pr. m² opvarmet etageareal. Varmtvandsbeholderen er på 600 l.

Forsyning

Bygningen har fjernvarmeforsyning, der anvendes til rumopvarmning samt produktion af varmt brugsvand. Varmen forsynes via en dampvarmeveksler, dog ses der bort fra varmetabet fra denne i forbindelse med energirammeberegningerne.

3. Energiberegninger for den eksisterende bygning (beregning 1)

Det er under særlige betingelser muligt at få et tillæg til energirammen, f.eks. hvis der er forøget brugstid af ventilationsanlægget, hvilket er tilfældet for bygning 30, idet bygningen også har et ventilationsbehov om natten. Tillægget beregnes som forskellen mellem bygningens energibehov beregnet med den sande brugstid, og energibehovet beregnet med en 45 timers ugentlig brugstid, dvs. uden ventilation om natten.

Tillægget til energirammen er beregnet i tabel 5. Kolonne 2 angiver den gennemsnitlige luftstrøm. Dette er den eneste parameter der er ændret ved de to beregninger.

Tabel 5. Beregning af tillæg til energirammen.

Ugentlig brugstid [h]	Gennemsnitlig luftstrøm [l/s m ²]	Energibehov [kWh/m ² år]
120	3,46	145,0
45	1,91	111,5
Tillæg		33,5

Energirammeberegningerne for den eksisterende bygning er vist i figur 8. Heraf ses at energiforbruget overskrider energirammen med ca. 12 %. I de næste afsnit undersøges diverse energibesparende tiltag, med henblik på at få bygningen bragt i overensstemmelse dels med energirammen i BR95t12, dels med energirammen i BR95k2.

Samlet energibehov
kWh/m² år
145,0

Energiramme
kWh/m² år Opfyldt

35,2 ☐ Lavenergibygnings klasse 1

50,3 ☐ Lavenergibygnings klasse 2

128,9 ☐ Samlet energiramme

Samlet energiramme

95,4 Energiramme i BR, uden tillæg

0,0 Tillæg for mekanisk udsugning uden VGV

33,5 Tillæg for særlige betingelser

Figur 8. Energirammeberegninger i henhold til BR95t12 for den eksisterende bygning.

4. Energibesparende tiltag

Med henblik på at få nedbragt bygningens energiforbrug, undersøges effekten af følgende energibesparende tiltag:

1. Forbedring af klimaskærmen
2. Forbedring af systemer
3. Installering af vedvarende energisystemer.

Forbedring af klimaskærmen

Følgende tiltag undersøges for klimaskærmen:

- K1. Efterisolering af facaden mod bygningens bagside samt gavlene
- K2. Efterisolering af facaden ud mod Jagtvej
- K3. Efterisolering af tagkonstruktioner
- K4. Efterisolering af tekniketagen
- K5. Udskiftning af vinduer, glasfacader og døre.

Efterisoleringstiltagene (K1 til K4) udføres ved at forøge isoleringsmængderne fra 150 mm til 350 mm. Dette medfører at ydervæggens U-værdier reduceres med ca. 50 % fra 0,2 W/m²K til ca. 0,1 W/m²K. Tiltaget K5 omfatter udskiftning af vinduer, glasfacader og døre med produkter der har en U-værdi på 1,3 W/m²K, samt en g-værdi på 0,6 (g=0 for døre uden vinduespartier).

I tabel 6 er vist hvilke facadeafsnit der er berørt af efterisoleringstiltagene, samt U-værdier før og efter tiltagene realiseres. Benævnelserne for facadeafsnittene er defineret i figur 13, i Appendiks 2.

Tabel 6. De berørte facadeafsnit for efterisoleringstiltagene, samt U-værdier før og efter tiltagene realiseres.

Tiltag	Berørte facadeafsnit	Areal [m ²]	U-værdi før [W/m ² K]	U-værdi efter [W/m ² K]
K1	Syd 2, Vest 4, Syd 3, Øst 1, Nord 1, Øst 2, Nord 2	1048,60	0,2	0,1
K2	Vest 1, Nord 3, Vest 2, Syd 1, Vest 3	935,68	0,2	0,1
K3	Tag (vest), Tag (øst), Tag (midt)	1060,75	0,2	0,1
K4	Øst, Nord, Vest, Syd	575,92	0,2	0,1
K5	Alle på nær gavlene	898,68	1,8	1,3
I alt		4519,63		

Forbedring af systemer

Følgende systemforbedringer undersøges:

- S1. Ventilationssystemets varmegenvinding forbedres
- S2. Der anvendes mere energieffektive ventilatorer
- S3. Der indføres automatisk styring af belysningssystemet.

Tiltaget S1 indebærer at der anvendes varmevekslere med en temperaturvirkningsgrad på 65 %. Tiltaget S2 indebærer at der anvendes ventilatorer med en SEL-værdi på 1,1 kJ/m³, i modsætning til den oprindelige værdi på 1,4 kJ/m³. En SEL-værdi på 1,1 kJ/m³ er meget lav, og grænser til hvad der er fysisk realiserbart. Ved at benytte denne lave værdi fås en teoretisk øvre grænse for, hvor meget bygningens energibehov kan reduceres ved at forbedre ventilatorernes energieffektivitet.

Endelig indebærer tiltaget S3 at der anvendes automatisk on-off regulering efter dagslyset i zonen, i stedet for manuel styring.

Installering af vedvarende energisystemer

Følgende vedvarende energisystemer undersøges:

- VE1. Et solvarmeanlæg
- VE2. En varmepumpe
- VE3. Et solcelleanlæg.

Tiltaget VE1 omfatter et solvarmeanlæg på 200 m² til rumopvarmning samt til produktion af varmt brugsvand. Anlægget kan evt. placeres på taget. Dette tiltag omfatter desuden at der anvendes en varmtvandsbeholder på 2000 l. Tiltaget VE2 omfatter en varmepumpe, der er tilsluttet ventilationssystemet, således at den henter varme fra aftrækket til ventilationsanlægget. Tiltaget VE3 omfatter et solcelleanlæg på 50 m², der f.eks. kan installeres på den sydvendte facade på 4. etage, eller på det østvendte tag.

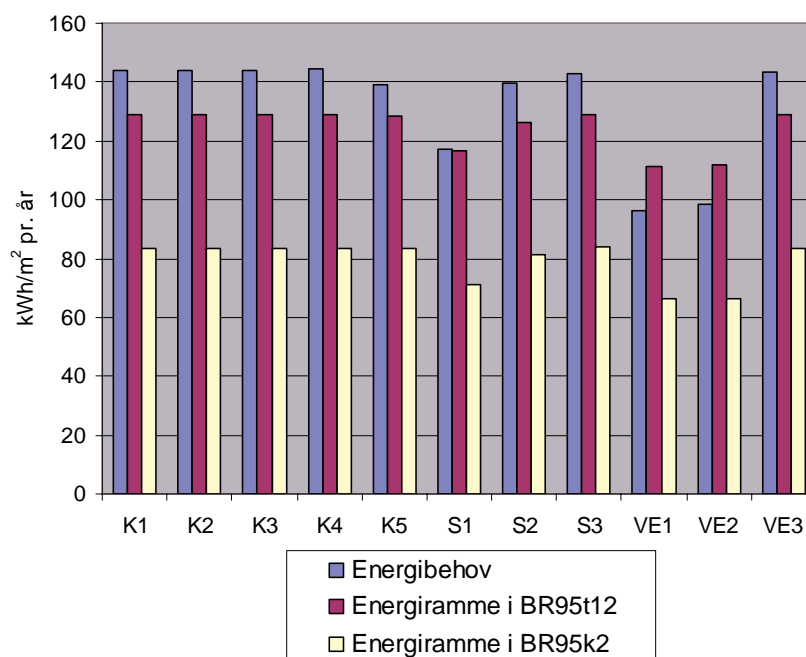
5. Energiberegninger for den forbedrede bygning (beregning 2 og 3)

Først foretages energirammeberegninger for de enkelte tiltag, for at undersøge deres virkning på energibehovet. Dernæst foretages energirammeberegninger for samlede løsninger, hvori der indgår flere energibesparende tiltag.

Energirammeberegninger for de energibesparende tiltag

I figur 9 er vist hvordan de betragtede energibesparende tiltag påvirker bygningens samlede energibehov. Energiforbruget er endvidere sammenholdt med energirammerne i henholdsvis BR95t12 og BR95k2. Heraf ses at der er to bidrag der alene kan bringe bygningens energibehov under energirammen i BR95t12, nemlig installering et solvarmeanlæg (VE1), samt tilslutning af varmepumpe til ventilationsanlægget (VE2). Ingen af de øvrige tiltag kan alene bringe energibehovet under energirammen i BR95t12, dog er forbedring af ventilationssystemets varmegenvinding (S1) meget tæt på.

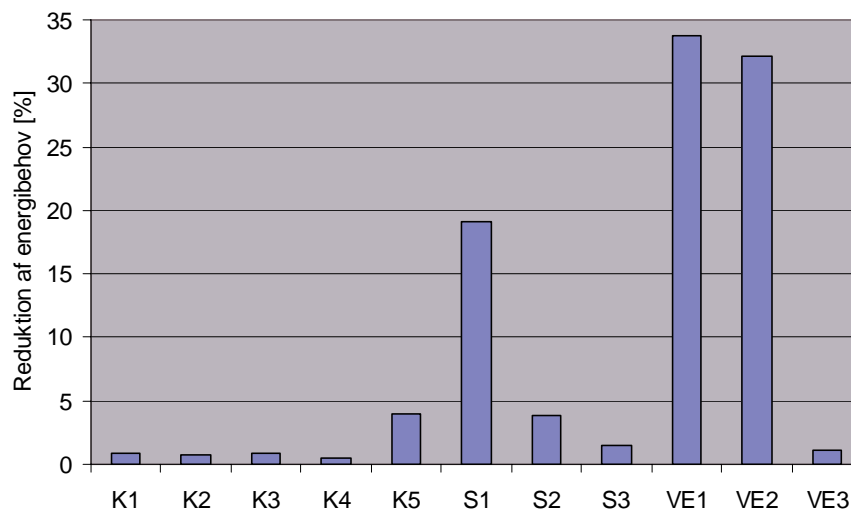
Der er ingen tiltag, der alene er i stand til at reducere energibehovet så meget, at bygningen overholder energirammen i BR95k2. Tættest herpå ligger solvarmeanlæg (VE1), men der mangler ca. 30 kWh/m² pr. år.



Figur 9. Figuren viser bygningens samlede energibehov ved realisering af de enkelte energibesparende tiltag. Desuden er energirammerne i hhv. BR95t12 og BR95k2 vist til sammenligning. De viste krav er inklusive tillæg for forøget brugstid.

I figur 10 er vist de relative forbedringer i bygningens energibehov, der kan opnås ved de enkelte energibesparende tiltag. Heraf ses at en forbedring af ventilationssystemets varmegenvinding (S1), installation af solvarmeanlæg (VE1), samt tilslutning af varmepumpe til ventilationsanlægget (VE2), er de tiltag der giver de største forbedringer.

Vedrørende klimaskærmen er udskiftning af vinduer det tiltag der har den største effekt, men der kan opnås mindst 4 gange så store energibesparelser med de førnævnte tiltag. Efterisolering af ydervægge har en relativt beskeden virkning på energiforbruget.



Figur 10. Figuren viser den relative reduktion af bygningens samlede energibehov, sammenlignet med den eksisterende bygning, ved anvendelse af de enkelte energibesparende tiltag.

Energirammeberegninger for samlede løsninger

Følgende løsninger undersøges:

- L1. Forbedring af klimaskærmen
- L2. Forbedring af ventilationssystemet
- L3. Forbedring af ventilationssystemet, samt installation af solvarmeanlæg
- L4. Alle energibesparende tiltag.

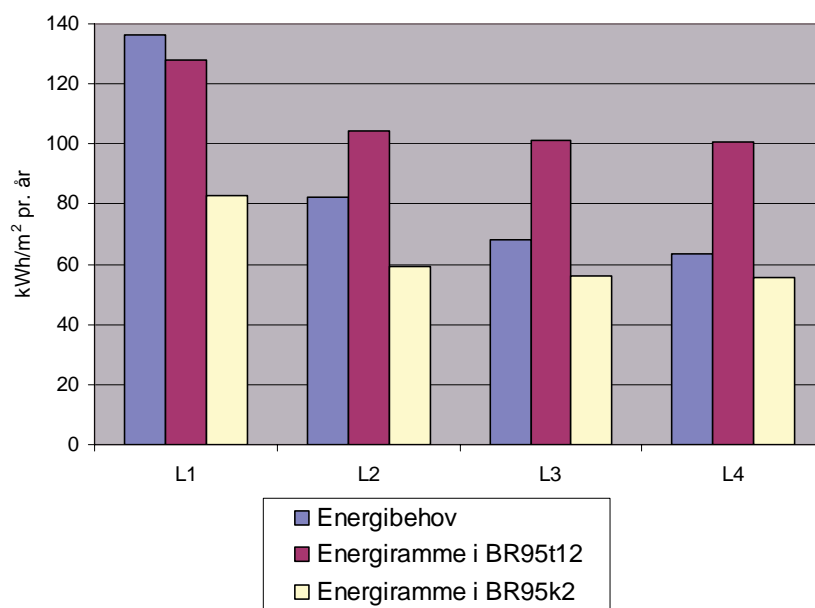
I tabel 7 er vist hvilke energibesparende tiltag der indgår i de fire løsninger. Bemærk at løsningen L1, der omfatter energiforbedrende tiltag for klimaskærmen, ikke omfatter renovering af facaden der vender ud mod Jagtvej (K2) på grund af beklædningen på denne facade.

I figur 11 er vist hvordan de fire løsninger påvirker bygningens samlede energibehov. Energiforbruget er endvidere sammenholdt med energirammen i BR95t12 og BR95k2. Heraf ses at alene en forbedring af klimaskærmen er ikke nok for at bringe bygningen i overensstemmelse med BR95t12.

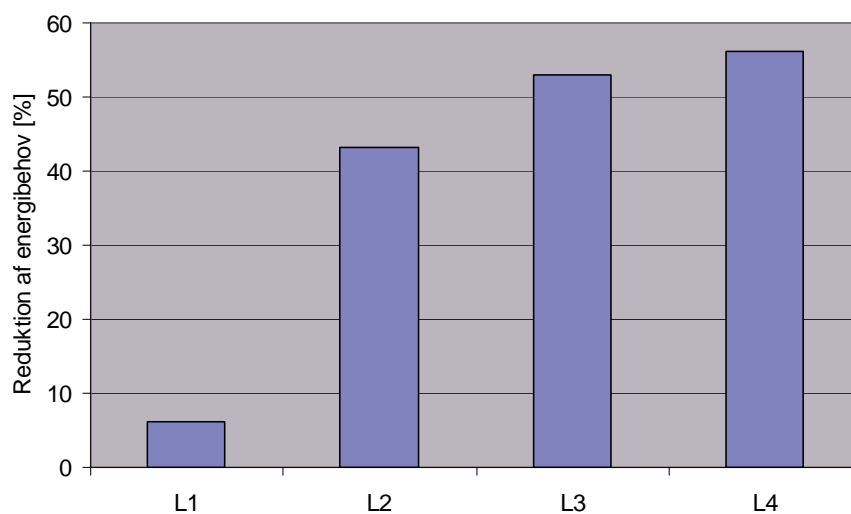
De øvrige tre løsninger bringer bygningen i overensstemmelse med BR95t12, men der er ingen af dem der bringer energibehovet ned på BR95k2 niveauet. Forbedring af ventilationssystemet (L2), samt installation af solvarmeanlæg (L3) er de tiltag der har den største effekt på bygningens energibehov, hvorimod de øvrige tiltag har en relativt lille effekt. Denne konklusion understøttes yderligere af figur 12, der viser den relative reduktion af bygningens energiforbrug, der fås ved anvendelse af de fire løsninger.

Tabel 7. De fire betragtede løsninger.

Tiltag	L1	L2	L3	L4
K1	X			X
K2				X
K3	X			X
K4	X			X
K5	X			X
S1		X	X	X
S2		X	X	X
S3				X
VE1			X	X
VE2		X	X	X
VE3				X



Figur 11. Figuren viser bygningens samlede energibehov ved anvendelse af de fire løsninger. Desuden er energirammerne i hhv. BR95t12 og BR95k2 vist til sammenligning. De viste krav er inklusive tillæg for forøget brugstid.



Figur 12. Figuren viser den relative reduktion af bygningens samlede energibehov, sammenlignet med den eksisterende bygning, ved anvendelse af de fire løsninger.

6. Generering af input til Be06 vha. Basismodel

I det følgende gives en generel beskrivelse af det input Be06 har brug for i forbindelse med energirammeberegninger. Dernæst gennemgås nogle forslag til ekstra funktioner i Basismodel, der har til hensigt at gøre det lettere at generere input til Be06.

Input til Be06

For at kunne foretage energirammeberegninger for en bygning har Be06 brug for oplysninger om bygningens brug, konstruktioner, klimaskærm, installationer samt energiforsyningssystemer. Bl.a. følgende oplysninger er nødvendige:

1. Bygning
 - a. Opvarmningsbehov
 - b. Ventilationsbehov
 - c. Belysningsbehov
 - d. Behov for varmt brugsvand
 - e. Personbelastning
 - f. Bygningens varmekapacitet
2. Klimaskærmen
 - a. Fladebidrag
 - i. Transmissionskoefficient (U-værdi)
 - ii. Temperaturfaktor (b-værdi)
 - iii. Solvarmetransmittans (g-værdi)
 - iv. Orientering
 - v. Skyggeforhold
 - vi. Glasandel
 - vii. Solafskærmningsfaktor
 - b. Linjebidrag
 - i. Længder af samlinger
 - ii. Linjetabskoefficienter
 - iii. Temperaturfaktor (b-værdi)
3. Installationer
 - a. Længder af rørstrækninger til rumopvarmning og varmt brugsvand, indenfor og udenfor klimaskærmen
 - b. Størrelse af varmtvandsbeholder
 - c. Varmetab fra rørstrækninger, varmtvandsbeholder, fjernvarmeveksler, mm.
 - d. Tomgangs- og driftseffekt for belysningsanlæg
 - e. Dagslysfaktorer for rum
 - f. Temperaturvirkningsgrad og SEL-værdi for ventilationssystem
4. Forsyning
 - i. Varmeenergi: Bidrag til rumopvarmning og produktion af varmt brugsvand fra fjernvarme, oliekedel, gaskedel, solvarme og varmepumpe skal angives
 - ii. Elenergi: Bidrag fra elnettet samt evt. solcelleanlæg skal angives

Vedrørende fladebidrag til klimaskærmen, skal 2.a.i og 2.a.ii oplyses for alle flader, hvor 2.a.iii til 2.a.vii kun skal oplyses for gennemsigtige dele af klimaskærmen (vinduer, glasfacadepartier og døre med glaspartier).

Ekstra funktioner i Basismodel

3D-visualisering af den digitale Basismodel gør det muligt at repræsentere en bygning vha. et antal objekter, hvor objekterne svarer til de konstruktioner, installationer, inventar mm, der indgår i bygningen. Objekterne kan grupperes på forskellig vis, f.eks. efter etage, således at alle objekter der befinder sig på en given etage, tilhører den samme gruppe. Eller objekterne kan grupperes efter type, således at f.eks. alle kontorlokaler eller ydervægge tilhører den samme gruppe. De enkelte grupper kan godt være overlappende. I den nuværende udgave af Basismodel anvendes grupperne dog kun til at vælge om objekterne tilhørende en given gruppe skal være synlige eller ej.

Der er mange uudnyttede fordele ved gruppering af objekter, f.eks. kan man associere en gruppe med en eller flere egenskaber. Dermed kan man f.eks. danne en gruppe af rum, der svarer til det opvarmede etageareal, og tildele disse lokaler det samme opvarmningsbehov. Eller man kan danne en gruppe af rum med ens ventilationsbehov eller belysningsbehov. Gruppering kan også anvendes til at danne grupper af ydervægselementer med ens egenskaber, f.eks. ydervægselementer med den samme U-værdi, eller der kan dannes grupper af vinduer med samme U-værdi og orientering.

Som en ekstra hjælp i forbindelse med oprettelsen af grupper, foreslås implementering af mængdeoperationer, såsom fælles- og foreningsmængder, og mængdedifferencer. Desuden kan det være fordelagtigt at kunne opdele grupper i mindre grupper. Dermed kan nye grupper hurtigt dannes på basis af eksisterende grupper.

Ved at integrere Be06 og Basismodel programmerne, er det muligt at foretage både energiberegninger og økonomiberegninger i samme arbejds-gang. Dermed kan der foretages cost/benefit² beregninger for de energibesparende tiltag og løsninger, hvilket kan fungere som beslutningsgrundlag for de i byggeriet involverede parter.

Bygningens beregnede og målte energibehov er sandsynligvis ikke identiske. Det målte energibehov kan benyttes til at kalibrere modellen, f.eks. ved at estimere værdierne for ukendte parametre. Dette kræver dog at det er muligt at måle både bygningens driftsbehov og dens funktionsbehov. Modelkalibreringen kan enten foretages manuelt eller automatisk ved at benytte datafitting teknikker.

Der foreslås dermed at der implementeres følgende funktioner i Basismodel:

1. Mulighed for at oprette brugerdefinerede grupper
2. Mulighed for at tildele egenskaber til gruppen
3. Beregning af egenskaber for gruppen (det samlede areal eller længde, gennemsnitlig orientering og skyggeforhold)
4. Cost/benefit beregninger
5. Mulighed for at sammenligne det beregnede og målte energibehov. Evt. mulighed for modelkalibrering.
6. Mulighed for at præsentere resultater, f.eks. i form af søjlediagrammer, eller for at eksportere data til Excel for videre bearbejdning

² F.eks. forholdet mellem prisen for tiltaget eller løsningen, og besparelsen i bygningens årlige energiforbrug. Eller tilbagebetalingstiden for tiltaget eller løsningen.

7. Afsluttende bemærkninger

De gennemførte energirammeberegninger indikerer at der er store besparelser at hente dels ved at forbedre ventilationssystemet, dels ved at installere et solvarmeanlæg. De øvrige tiltag, der omfatter forbedring af klimaskærm, automatisk styring af belysningssystem, samt installation af et solcelleanlæg, lader til at have en ret begrænset virkning på bygningens samlede energibehov.

Der er ingen tvivl om at bygningen har et stort ventilationsbehov. Behovet er muligvis underestimeret, da ventilationsbehovet om natten og om week-enden muligvis er større end antaget. Derfor vil de faktiske energimæssige fordele ved en forbedring af ventilationsanlæggets varmegenvinding eller ved tilslutning af en varmepumpe muligvis være større end beskrevet i denne rapport.

Behovet for varmt brugsvand er ukendt, her er i stedet anvendt antagelserne fra BR95t12 om 100 l/m² pr. år. Hvis dette tal er meget overestimeret i forhold til det faktiske forbrug, vil dette reducere fordelene ved et solvarmeanlæg.

Baseret på erfaringerne med at hente oplysninger fra Basismodel programmet, og bruge disse til energirammeberegninger i Be06, er der udarbejdet forslag til implementering af yderligere funktioner i Basismodel. Forslagene har til hensigt at få de to programmer til at arbejde tættere sammen, og dermed at understøtte beslutningsprocessen.

Litteratur

Bertelsen, N.H., Hansen, E.J.P. (2004). *Bygherrens tidlige prissætning og erfaringsopsamling – Blokmodellen anvendt på en nybygning for Danmarks Farmaceutiske Universitet*. By og Byg Dokumentation 060, Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm.

Sørensen, N.L. (2004). *Bygherrens tidlige prissætning og erfaringsopsamling*. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm. Download 3D-visualiseringsmodel på www.sbi.dk/byggeprocessen/3d-visualisering/3d-modeller.

Appendiks 1: Datamateriale

Resultaterne beskrevet i denne rapport er baseret på datamaterialet i følgende filer:

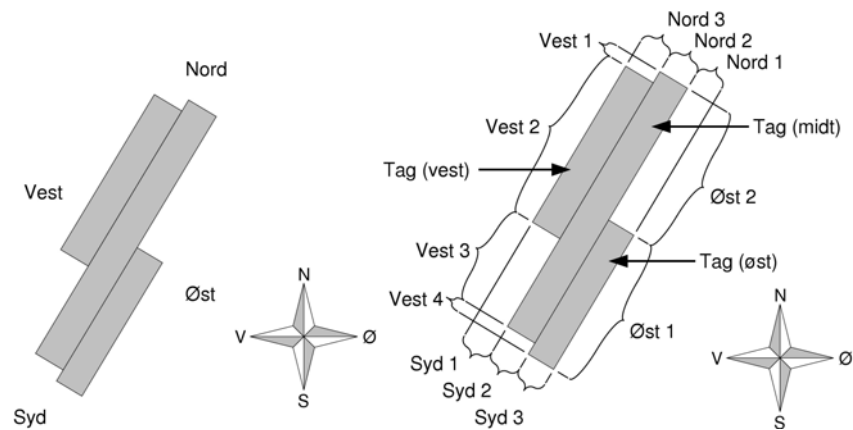
FARMA.basismodel: Blokmodel af Bygning 30.

FARMA (eksisterende bygning).xml: Energirammeberegninger for den eksisterende bygning.

FARMA (?).xml: Energirammeberegninger for et tiltag eller løsning, hvor ? angiver hvilket tiltag eller løsning der er tale om. F.eks. er energirammeberegningerne for solvarmeanlægget (tiltag VE1) gemt i filen FARMA (VE1).xml.

Appendiks 2: Arealer og vinkler

Anvendte benævnelser for facader og endevægge



Figur 12. Tv: Generelle benævnelser for facader og endevægge. Th: Benævnelser for de enkelte afsnit af facader, endevægge og tage.

Ydervægge og tagkonstruktioner

Tabel 8. Arealer for ydervægge og tag, fra stueetage til 3. etage. Bemærk at afsnittet "Vest 4" ikke er medtaget, da dette afsnit udelukkende består af glasfacadeelementer.

Bygningsdel	Areal [m ²]
Øst 1	320,00
Øst 2	387,03
Syd 1	79,00
Syd 2	111,84
Syd 3	75,09
Vest 1	42,68
Vest 2	476,20
Vest 3	258,84
Nord 1	45,36
Nord 2	109,28
Nord 3	78,96
Tag (vest)	300,91
Tag (øst)	258,85

Tabel 9. Arealer for ydervægge og tag på 4. etage (tekniketagen).

Bygningsdel	Areal [m²]
Øst	320,00
Syd	79,00
Vest	42,68
Nord	45,36
Tag	300,91

Vinduer, glasfacader og døre

Tabel 10. Dimensioner for anvendte vinduer, glasfacader og døre.

Betegnelse	Type	Bredde [m]	Højde [m]	Areal [m²]
V1	Vindue	0,85	1,37	1,16
V2	-	1,88	1,37	2,58
V3	-	2,79	1,37	3,82
V4	-	1,99	1,72	3,42
V5	-	5,00	1,72	8,60
V6	-	1,99	2,49	4,96
D1	Dør	1,12	2,19	2,45
D2	-	1,12	2,39	2,68
D3	-	1,12	2,19	2,45
F1	Glasfacadeparti	1,79	2,13	3,81
F2	-	1,79	2,13	3,81
F3	-	1,79	2,13	3,81
F3F	-	1,79	2,13	3,81
F4	-	1,79	2,13	3,81
F4F	-	1,79	2,13	3,81
F5	-	2,96	2,10	6,22
F6	-	2,96	2,10	6,22
F7	-	1,79	2,14	3,81
F8	-	1,79	3,10	5,55
F8A	-	1,79	3,10	5,55
F9	-	1,79	3,10	5,55
F9A	-	1,79	3,10	5,55
F10	-	1,17	3,37	3,94
F11	-	1,17	3,37	3,94
F12	-	1,17	3,37	3,94

Tabel 11. Af tabellen fremgår antallet af vinduer, glasfacader og døre, der er anvendt i de forskellige facadeafsnit.

Placering																
Betegnelse	Vest 1	Vest 2	Vest 3	Vest 4	Syd 1	Syd 2	Syd 3	Øst 1	Øst 2	Nord 1	Nord 2	Nord 3	Nord 4	Øst	Vest	I alt
V1			4						4							8
V2									1							1
V3			28						41							69
V4		40						28								68
V5		4														4
V6																0
D1	4															4
D2									1							1
D3														2	2	4
F1												3				3
F2							1									1
F3							2									2
F3F					3											3
F4							1									1
F4F					1											1
F5				1												1
F6				3												3
F7												1				1
F8										1						1
F8A										1						1
F9										3						3
F9A										3						3
F10								1								1
F11								2								2
F12								1								1

Lav og dyb kælder

Tabel 12. Arealer for lav og dyb kælder.

Bygningsdel	Areal [m²]
Kælderydervægge (lav kælder)	708,22
Terrændæk (lav kælder)	1053,21
Kælderydervægge (dyb kælder)	299,40
Terrændæk (dyb kælder)	183,41
Kældertag (dyb kælder)	162,53

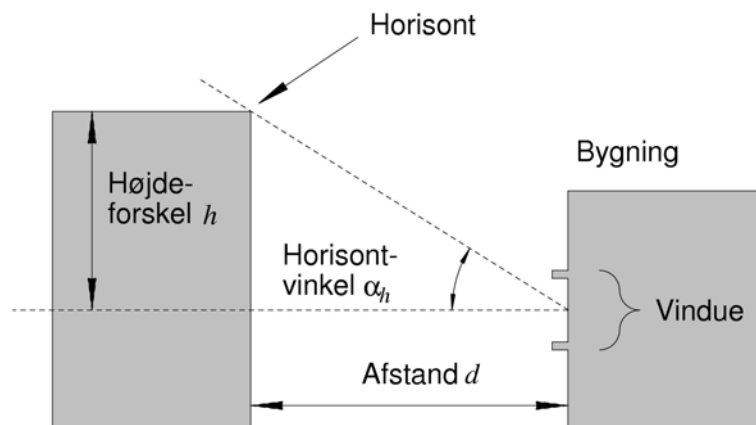
Appendiks 3: Vinkler

I forbindelse med beregning af lysindfald skal der tages højde for skygger. Dette gøres ved at angive horisontvinkel samt vinkler til udhæng og skygger til højre og venstre. Desuden skal vindueshullets dybde angives i procent af falsens dybde.

Ideelt bør de førnævnte vinkler beregnes separat for hvert vindue i bygningen. I forbindelse med dette projekt beregnes horisontvinklen separat for hver etage, og der beregnes en gennemsnitsvinkel for skygger til højre og venstre. Bygningen har intet udhæng, så denne vinkel sættes til nul for alle vinduer. Desuden er vinduerne i plan med facaden, eller i det mindste meget tæt på, derfor sættes vindueshullets dybde til 0 %.

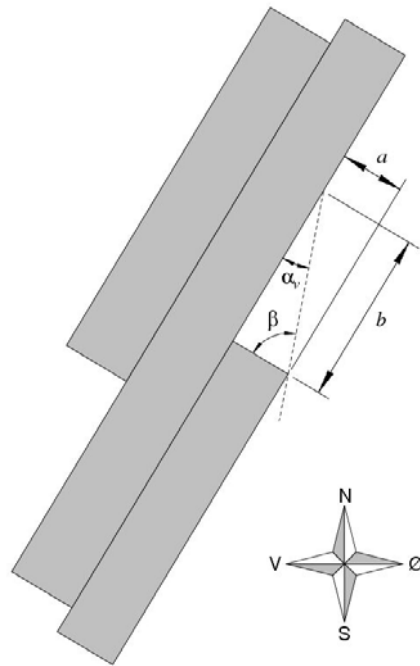
Horisontvinklen beregnes på basis af den estimerede afstand til og højde af den genstand/bygning der danner horisonten som vist i figur 13. Følgende udtryk benyttes til at beregne horisontvinklen:

$$\alpha_h = \text{Arctan} \frac{h}{d}, \quad (1)$$



Figur 13. Størrelser der benyttes ved beregning af horisontvinklen (lodret snit).

Der benyttes en gennemsnitsværdi for vinkler for skygger til venstre og højre. Princippet for beregning af denne er illustreret i figur 14.



Figur 14. Principskitse for beregning af gennemsnitsvinkler for skygger til højre og venstre.

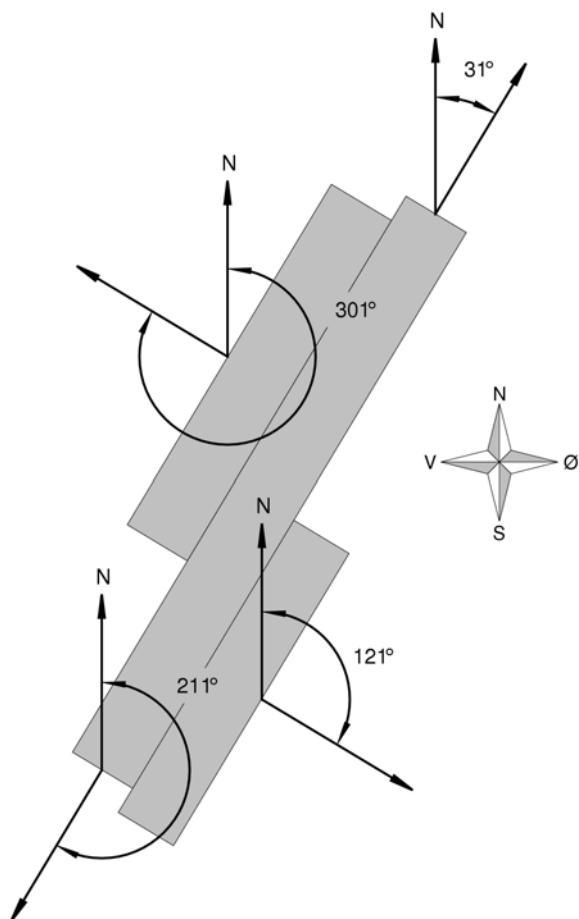
Der søges en gennemsnitsværdi for α_v , når b gennemløber et interval fra nul til en øvre værdi, benævnt b_{\max} . Denne fås ved følgende udtryk:

$$\begin{aligned}\bar{\alpha}_v &= \frac{1}{b_{\max}} \int_0^{b_{\max}} \alpha_v db \\ &= \frac{\pi}{2} - \text{Arctan} \frac{b_{\max}}{a} - \frac{a}{2b_{\max}} \ln \frac{a^2}{b_{\max}^2 + a^2}\end{aligned}\quad (2)$$

hvor $\bar{\alpha}_v$ er gennemsnitsværdien for α_v . De gennemsnitlige vinkler for skygger til højre og venstre er givet i tabel 13. I figur 15 er vist orienteringen af bygningens facader i forhold til nord.

Tabel 13. Gennemsnitlige vinkler for skygger for forskellige facadeafsnit.

Facadeafsnit	a [m]	b_{\max} [m]	$\bar{\alpha}_v$	$\bar{\alpha}_v$	Retning
			[radianer]	[grader]	
Øst 2	7,01	36,40	0,5110	29,28	Højre
Syd 1	24,40	1,80	1,5339	87,89	Venstre
Vest 1	7,00	3,40	1,3367	76,59	Venstre
Vest 3	7,00	24,40	0,6490	37,18	Højre
Vest 4	7,35	3,00	1,3720	78,61	Højre
Nord 1	36,40	7,00	1,4752	84,52	Venstre
Nord 3	3,40	1,80	1,3172	75,47	Højre



Figur 15. Orientering af bygningens facader i forhold til nord.

Nye skærpede energikrav i 2006 vil få indflydelse på fremtidige ny- og ombygninger også inden for universitetsbyggeriet. Universitets- og Bygningsstyrelsen (UBST) har i samarbejde med SBI foretaget nogle foreløbige analyser af, hvorledes man kan håndtere dem i praksis. Analyserne er illustreret på et byggeri fra 1999 under Det Farmaceutiske Fakultet i København, som før har været brugt som demo-byggeri for UBST. Ud over de konkrete beregninger og vurderinger er der i rapporten givet forslag til, hvorledes udvikling og afprøvning kan videreføres på andre universitetsbyggerier. Desuden er der givet forslag til, hvorledes energirammeberegningerne kan samordnes med en 2D- eller 3D-visualisering, som kan udbygge bygherrefunktionens erfaringsopsamling og samarbejde med brugerne og byggeparterne.

1. udgave, 2007
ISBN 978-87-563-1301-8